

EVOLUCIÓN DEL FLUJO DE RESIDUOS GENERADOS EN OBRAS DE EDIFICACION RESIDENCIAL

Villoria Sáez, Paola (1)*; Del Río Merino, Mercedes (1); San-Antonio-González, Alicia (1)

(1) *Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. Construcciones Arquitectónicas y su Control.*

En la actualidad, conocer los residuos de construcción y demolición (RCD) generados en una obra es indispensable para optimizar su gestión. Por tanto, cualquier herramienta que establezca una estimación de los residuos generados debe ser considerada como un instrumento más para plantear soluciones reales en el campo de la sostenibilidad.

La presente comunicación da a conocer la evolución del flujo de residuos generados en la construcción de edificios residenciales, identificando la fase de obra que más RCD produce. Para ello, se han analizado varias obras reales construidas en la Comunidad de Madrid.

Los resultados obtenidos permiten conocer, con la antelación suficiente, la cantidad de RCD que se va a generar, y por tanto planificar la cantidad y dimensión de los contenedores necesarios en un determinado momento de la obra, así como el espacio preciso en la obra para su correcta gestión.

Palabras Clave: residuos de construcción y demolición, cuantificación, flujo de residuo, evolución, edificación residencial.

EVOLUTION OF THE WASTE STREAM GENERATED IN RESIDENTIAL BUILDING WORKS

Currently, knowing the construction and demolition waste (CDW) generated in a construction work is essential to optimize CDW management. Therefore, any tool establishing an estimation of the CDW should be considered as an alternative tool to achieve real solutions in the field of sustainability.

The present communication presents the evolution of CDW flow generation in the construction of residential buildings, and identifies the construction activity generating more waste. For this, several real building construction sites have been analysed.

The results of this study allow us to estimate in advance the amount of CDW to be generated in a building construction site and therefore it helps to plan the number and size of the containers required at any moment of the construction process, as well as to plan the space required for the proper CDW management.

Key words: construction and demolition waste, quantification, waste stream, evolution, residential building.

* paola.villoria@upm.es

1. Introducción

El Real Decreto 105/2008 (Ministerio de la Presidencia), de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los RCD, obliga a elaborar un Plan y un Estudio de gestión de residuos para cada proyecto. Así, los nuevos Estudios y Planes de Gestión de Residuos fomentan la minimización de los residuos evitables, la retirada selectiva y el reciclaje de los residuos inevitables, favoreciendo la reducción de la incidencia ambiental de la edificación.

A pesar del alto potencial de valorización de los RCD (Guzmán et al. 2012) y de la existencia de diversos modelos de gestión (en colegios profesionales, empresas constructoras, software...) a día de hoy, los profesionales todavía siguen priorizando la eliminación frente al reciclaje o reutilización, pues según el II Plan Nacional de RCD 2007-2015 (II PNRC) el porcentaje de RCD reciclado en España, no llega ni en el mejor de los casos, al 18% del total producido. Esta situación, se debe principalmente al tipo de sistema de recogida de residuos que se utilizan en la construcción de edificios, pues se realiza de forma descentralizada por cada empresa sub-contratada para la realización de la obra (del Río et al. 2010). Esto significa que el principio de reducción de residuos no se aplica en la práctica, ya que no es considerado como una actividad en la planificación de la obra.

En general, el análisis de residuos se limita a estimar la cantidad total de residuo generado, siendo pocas las empresas que van más allá y clasifican esa cantidad según la actividad de la obra. Además, utilizan el mismo método de gestión para todas sus obras, sin tener en consideración las características de cada una

de ellas, pudiendo solucionar la situación, en muchos de los casos, realizando una planificación previa (Villoria & del Río., 2010).

Existe pues, una importante falta de planificación e implementación en obra de tareas que minimicen los residuos generados y favorezcan el reciclado. La mayoría de los modelos actuales dejan al descubierto la gestión en la etapa de ejecución material a pie de obra y no incorporan ningún documento de gestión adaptado a dicha etapa, que tenga en cuenta las buenas prácticas asociadas a cada residuo de forma individual o al proceso constructivo de forma global.

En definitiva, la nueva legislación de RCD y la situación actual que sufre España en materia de gestión de residuos, ha llevado a reflexionar sobre la situación y desarrollar una herramienta que mejore este problema. Dicha herramienta se basa en una separación selectiva en origen, maximización del reciclaje, así como la implantación de buenas prácticas asociadas al capítulo que más residuos genera, siendo imprescindible un control y seguimiento del mismo. El desarrollo de un manual de buenas prácticas durante la ejecución de la obra, pretende no solo mejorar los actuales sistemas de gestión, sino ayudar a los responsables en materia de gestión de RCD a aplicar correctamente la legislación vigente, y contribuir así a la consecución de los objetivos cuantitativos estipulados, para el año 2015, en el II PNRC 2008-2015.

La preocupación por establecer indicadores que describan los residuos generados en la construcción ha aumentado en los últimos años (Yuan & Shen, 2010). Son varios los autores que han desarrollado nuevos métodos para cuantificar los RCD generados tanto en obras de nueva construcción como de demolición. También han sido varios los estudios que distinguen el porcentaje que representa cada categoría de RCD sobre el total generado (Tabla 1).

Residuo	Autor/Fuente							
	Mañà i Reixach et al. (2000)	I PNIR (2001)	Pereira (2002)	Costa & Ursella (2003)	Bergsdal et al. (2007)	Mercader et al. (2013)	Cohelo & Brito (2011)	Llatas et al. (2011)
Tierras, piedras y rocas sin SP	-	9,00	-	-	-	-	-	67,00
Hormigón	-	12,00	-	-	-	1,5	-	
Ladrillos, tejas y material cerámico	-	54,00	-	-	-	-	-	
Mezclas de hormigón, ladrillos y mat. cerámico	85,00	-	58,30	84,30	67,24	-	82,9	
RCD Mezclado	-	75,00	-	-	-	0,08	-	
Madera	11,20	4,00	8,30	-	14,58	84,41	-	33,00
Envases de papel y cartón	-	0,30	-	-	-	9,76	1,2	
Plástico	0,20	1,50	0,83	-	-	0,73	0,16	
Yeso	-	0,20	-	-	-	-	6,4	
Vidrio	-	0,50	-	-	-	-	-	
Metales	1,80	2,50	8,30	0,08	3,63	1,23	4,5	
Asfalto	-	5,00	10,00	6,90	-	-	4,2	
Otros	1,80	11,00	14,20	8,80	14,55	2,29	-	

Tabla 1. Porcentaje de cada categoría de RCD sobre el total generado.

En España, el estudio de Mañà i Reixach et al. (2000) desarrolló los porcentajes utilizados por el Instituto de la Construcción de Cataluña (ITeC) para cuantificar cinco categorías de RCD generado según los distintos sistemas constructivos.

Otros estudios establecen ratios de generación de RCD en obras de edificación (tabla 2). Entre ellos, Mañà i Reixach et al., (2000) desarrolló el método utilizado por el Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña para cuantificar el RCD generado por superficie construida según los distintos sistemas constructivos.

Poon et al. (2001) estableció $0,175 \text{ m}^3/\text{m}^2$ como ratio de generación de RCD en obras públicas realizadas en Hong Kong frente a $0,250 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de las privadas. Lin (2006) analizó varios edificios de Taiwan obteniendo ratios de generación de RCD en torno a $0,85 \text{ m}^3/\text{m}^2$ construido para edificios no residenciales y de $0,54\text{-}0,66 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para edificaciones residenciales.

En 2010, el trabajo desarrollado por Solís-Guzmán et al. (2010), estableció un modelo para la cuantificación de RCD en España, basándose en los presupuestos del proyecto. El modelo cuantifica las distintas

categorías de residuos generados, diferenciando el residuo procedente de las demoliciones, pérdidas de material durante la construcción y los embalajes. Se determinaron los siguientes ratios de generación: $0,03076 \text{ m}^3/\text{m}^2$ construido para obras de nueva construcción y $1,2676 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para obras de demolición.

Más recientemente, Llatas (2011) determinó ratios de generación de RCD para tres tipologías de residuos: restos, envases y tierras. Los resultados del estudio determinaron los siguientes ratios de generación: $0,0819 \text{ m}^3/\text{m}^2$ construido para residuos de embalajes; $0,0569 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para los restos; $0,2805 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para las tierras. Mercader et al. (2011) obtuvo ratios de generación para cada categoría de RCD a través de un análisis de diez edificios residenciales.

En resumen, la tabla 2 recoge los ratios de generación de RCD obtenidos en los estudios previos más relevantes.

Autor	Resultado
Mañá i Reixach et al. (2000)	$0,7320 \text{ m}^3/\text{m}^2$ viviendas de fábrica; $0,9690 \text{ m}^3/\text{m}^2$ viviendas de hormigón; $0,8740 \text{ m}^3/\text{m}^2$ edificios no residenciales de fábrica
Poon et al. (2001)	$0,175 \text{ m}^3/\text{m}^2$ como ratio de generación de RCD en obras públicas realizadas en Hong Kong frente a $0,250 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de las privadas.
Lin (2006)	$0,85 \text{ m}^3/\text{m}^2$ construido para edificios no residenciales y de $0,54\text{-}0,66 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para edificaciones residenciales.
Solís-Guzmán et al. (2010)	$0,03076 \text{ m}^3/\text{m}^2$ en obras de nueva construcción y $1,2676 \text{ m}^3/\text{m}^2$ en obras de demolición.
Llatas (2011)	$0,0819 \text{ m}^3/\text{m}^2$ construido para residuos de embalajes; $0,0569 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para los restos; $0,2805 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para las tierras.
Mercader et al. (2013)	$0,07979 \text{ t}/\text{m}^2$ residuos en obras residenciales.

Tabla 2. Ratios de generación en obras de nueva construcción obtenidos por otros autores.

3.- Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es conocer la evolución del flujo de residuos generados en la construcción de edificios residenciales, identificando la fase de obra que más RCD produce, definiendo ratios que permitan cuantificar el RCD generado. Este trabajo pretende ayudar a los responsables en materia de gestión de RCD a aplicar correctamente la legislación vigente, y contribuir así a la consecución de los objetivos cuantitativos estipulados, para el año 2015.

4.- Metodología

Se ha centrado el estudio en la obtención de datos a partir del análisis de las siguientes obras reales ejecutadas por ARPADA S.A con similares características constructivas entre ellas (tabla 3).

Nombre	Inicio	Situación	Nº viv	m ² viv	Total m ² construidos	Características
O226	Ago-09	Madrid	226	67	23.569,00	Estructura HA. Cubiertas planas transitables. LCV y monocapa, poliuretano y tabiquería gran formato
O192	Abr-11	Fuenlabrada	192	89	17.617,00	Estructura HA. Cubiertas planas transitables. LCV, yeso laminado.
O156	Jun-10	Getafe	156	119	30.759,68	Estructura HA. Cubiertas plana. LCV, poliuretano, yeso laminado.
O154	Ene-10	Getafe	154	112	25.936,00	Estructura HA. Cubiertas planas formación de pendientes de Arlita. LCV, yeso laminado.
O105	Jul-09	Móstoles	105	105	20.435,24	Estructura HA. Cubiertas planas formación de pendientes de Arlita. LCV, poliuretano, LHS.
O32A	Jun-10	PAU Vallecas	32	111	5.983,46	Estructura HA. Cubiertas planas. Fachada ventilada, poliuretano y tabiquería gran formato
O32B	Jun-10	PAU Vallecas	32	111	5.983,46	Estructura HA. Cubiertas planas. Fachada ventilad, poliuretano y tabiquería gran formato

Tabla 3. Características de las obras analizadas.

Con las obras seleccionadas se ha realizado un análisis experimental utilizando: los albaranes correspondientes a la salida de los contenedores de la obra (albarán de servicio), así como los albaranes que emite el gestor una vez pesado el contenedor en su planta (albarán de admisión) y las fechas de las siguientes certificaciones de obra:

- 1ª certificación
- Última de estructura: incluye trabajos previos, movimiento de tierras, saneamiento, cimentación y estructura.
- 1ª de albañilería: cerramientos, trasdosados y tabiquerías, rozas, yesos y enfoscados
- 1ª de acabados I: inicio de alicatados, solados, falsos techos, carpinterías, etc.
- 1ª de acabados II: inicio de pinturas, tarimas, rodapiés, las puertas de madera, barandillas...
- Última certificación

El estudio experimental permite, a través de datos reales a pie de obra, identificar la actividad que más residuo genera, así como permite conocer el volumen y el peso del residuo generado diariamente en cada actividad.

5.- Resultados

Las cuantificaciones recogidas en los albaranes de las obras analizadas permiten establecer una primera aproximación a la obtención de una cuantificación que relacionan el RCD generado y la superficie construida. Así pues, los ratios permiten conocer: el peso de RCD global así como el RCD generado en la actividad de obra que más residuo produce.

5.1.- Total RCD generado

De la relación entre la cantidad de RCD total generado en la obra y la superficie construida (m^2), se obtiene el primer ratio (tabla 4). Este ratio permite estimar, para obras de similares características a las analizadas, cual es el peso del residuo total generado una vez conocida la superficie construida del proyecto.

Obra	m ² construidos	kg RCD	m ³ RCD	PESO	VOLUMEN
				kg RCD/m ² constr.	m ³ RCD/m ² constr.
O226	23569,00	2969425,00	5034	125,99	2,14E-01
O192	26692,00	3132780,00	5646	117,37	2,12E-01
O156	30760,00	2934829,00	5200	95,41	1,69E-01
O154	25936,00	2222305,00	3385	85,68	1,31E-01
O 105	20435,00	2370680,00	3437	116,01	1,68E-01
O 32A	5983,00	978392,00	1290	163,52	2,16E-01
O 32B	5983,00	709220,00	1020	118,53	1,70E-01

Tabla 4. Primer ratio. Relación entre el RCD total generado en la obra y la superficie construida.

Este ratio es el más utilizado por los profesionales para conocer la generación aproximada de la totalidad del residuo, una vez conocida la superficie total construida. En este sentido, la figura 1 muestra los estudios que previamente han establecido éste ratio.

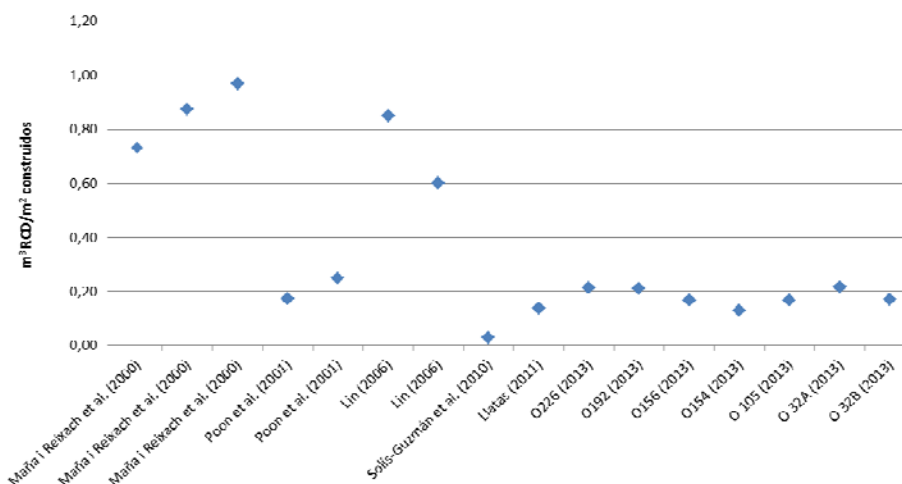


Figura 1. Comparación de los ratios de RCD total obtenidos con los establecidos por otros autores.

En general, todas las investigaciones sitúan el ratio de generación global de volumen de RCD entre $3,08E-02 m^3/m^2$ y $9,69E-01 m^3/m^2$. La diferencia entre las distintas fuentes puede deberse a los siguientes factores:

- La discrepancia entre los sistemas constructivos utilizados en las viviendas analizadas por los distintos autores (tipo de fachada, estructura, cimentación...)

- El número de viviendas y la superficie construida que se ha considerado en el estudio (depende de si se tiene en cuenta total o parcialmente las zonas comunes del edificio).

5.2.- Evolución del flujo de residuos

Es importante conocer no solo la cantidad total de residuo generado, sino también su evolución a lo largo de la obra. En este sentido, la figura 2 muestra un ejemplo del flujo de residuo generado en una de las obras analizadas, analizando las cantidades diarias generadas desde el inicio de la misma, tanto en peso como en volumen.

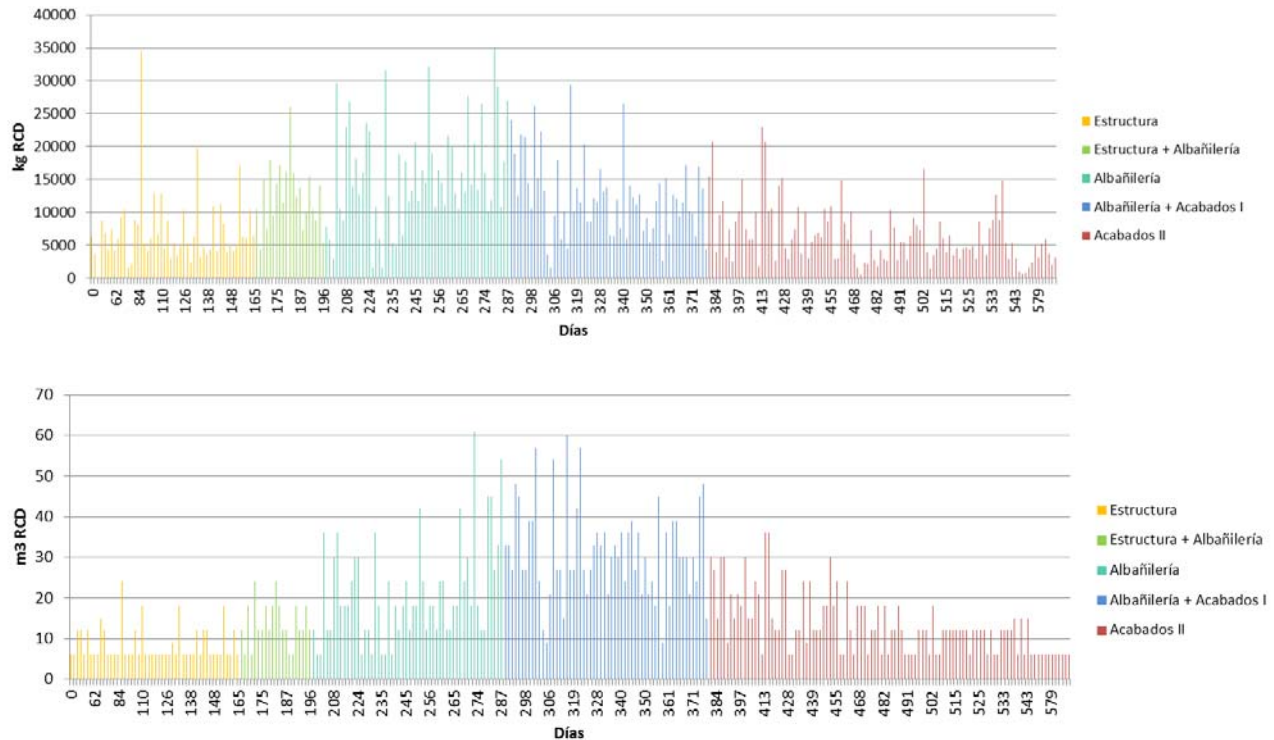


Figura 2. Ejemplo de la evolución del flujo de residuo total generado en una de las obras analizadas (O156).

Además, con los datos obtenidos en la figura 2 se puede determinar el porcentaje que representa la cantidad de residuo generado en una actividad sobre el total producido en la obra (Figuras 3 y 4). De este modo, se observa que las actividades de albañilería y acabados generan durante su ejecución más del 30% del total de RCD previsto de ser generado, tanto en peso como en volumen.

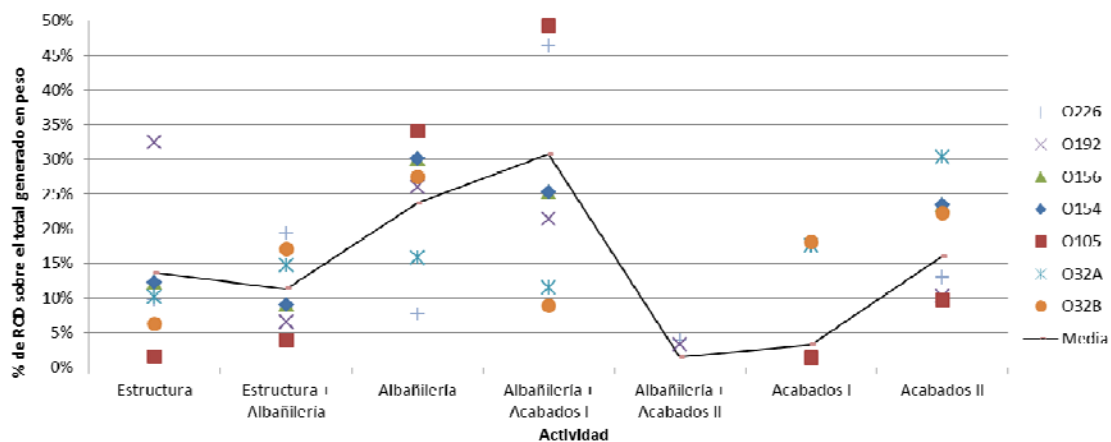


Figura 3. Porcentaje del RCD total generado en peso en cada actividad de obra.

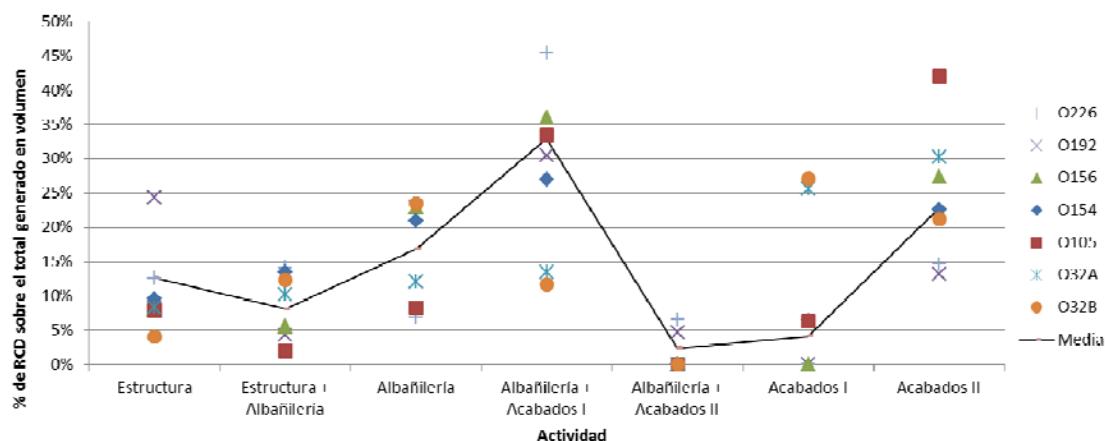


Figura 4. Porcentaje del RCD total generado en volumen en cada actividad de obra.

Relacionando las cantidades de RCD generadas con la superficie total construida (m^2) de cada proyecto, se establece un segundo ratio (tabla 5), el cual permite estimar la generación de RCD (en peso y volumen) estructurada por actividades de obra una vez conocida la superficie construida del proyecto.

Unidad	Actividad	Obras							
		O226	O192	O156	O154	O105	O32A	O32B	Media
VOLUMEN (m^3 RCD/ m^2 construido)	Estructura	2,70E-02	5,15E-02	1,37E-02	1,25E-02	1,33E-02	1,80E-02	7,02E-03	2,04E-02
	Estructura + Albañilería	3,11E-02	9,22E-03	9,36E-03	1,76E-02	3,38E-03	2,21E-02	2,11E-02	1,63E-02
	Albañilería	1,45E-02	4,86E-02	3,88E-02	2,75E-02	1,39E-02	2,61E-02	4,01E-02	2,99E-02
	Albañilería + Acabados I	9,70E-02	6,45E-02	6,10E-02	3,52E-02	5,63E-02	2,91E-02	2,01E-02	5,19E-02
	Albañilería + Acabados II	1,40E-02	9,89E-03	-	-	-	-	-	1,19E-02
	Acabados I	-	-	-	8,33E-03	1,06E-02	5,52E-02	4,61E-02	3,01E-02
	Acabados II	3,00E-02	2,79E-02	4,62E-02	2,95E-02	7,08E-02	6,52E-02	3,61E-02	4,37E-02
	Total	2,14E-01	2,12E-01	1,69E-01	1,31E-01	1,68E-01	2,16E-01	1,71E-01	1,83E-01
PESO (kg RCD/ m^2 construido)	Estructura	12,31	38,03	11,66	9,2	1,84	16,55	7,37	13,85
	Estructura + Albañilería	24,35	7,69	8,53	12,75	4,51	24,1	20,27	14,60
	Albañilería	9,62	30,52	28,74	20,87	39,57	25,96	32,59	26,84
	Albañilería + Acabados I	58,38	25,17	24,12	22,26	57,17	18,72	10,46	30,90
	Albañilería + Acabados II	4,97	3,89	-	-	-	-	-	4,43
	Acabados I	-	-	-	6,38	1,66	28,66	21,44	14,54
	Acabados II	16,36	12,07	22,36	14,22	11,25	49,52	26,41	21,74
	Total	125,99	117,37	95,41	85,68	116	163,51	118,54	126,89

Tabla 5. Segundo ratio. Relación entre el peso de RCD generado en cada actividad y la superficie total construida (kg RCD/ m^2 construido).

Por último, se ha observado que el volumen acumulado del flujo de RCD generado desde el inicio de la obra sigue una expresión polinómica en todos los casos analizados (figura 4). De los resultados representados en la figura 4 se observa que cantidades relativamente pequeñas de residuos se acumulan en las primeras etapas de las obras de construcción. En concreto, durante el primer cuarto de la duración de la obra se genera entre un 10-20% del residuo total. Este resultado coincide con el obtenido por Katz y Baum (2009) donde estimaron que la cantidad de residuos acumulados durante las primeras etapas de la construcción es bastante baja (5%).

A su vez, en el último cuarto se observa que cinco de las seis obras analizadas ya han generado más del 85% del residuo total, a excepción de la obra O32A cuyo RCD acumulado se sitúa entorno al 70%. Además, cuando se cumple el 85% del tiempo de ejecución de la obra todas las obras analizadas han generado más del 95% de su residuo total.

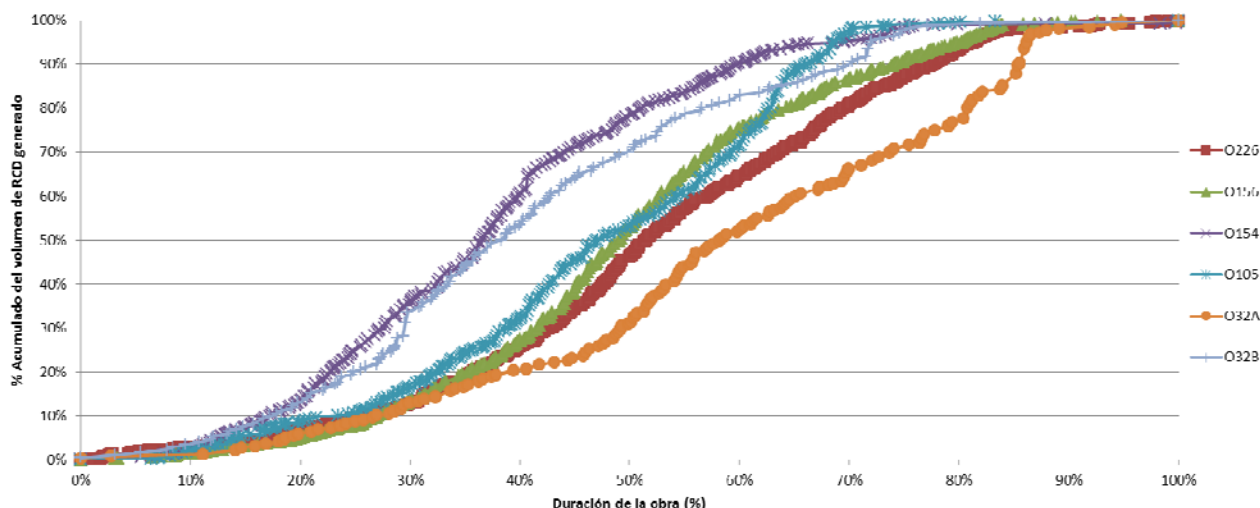


Figura 4. Porcentaje del RCD total generado en cada actividad de obra.

El porcentaje de residuo acumulado durante la etapa media de la obra (25-75% de la duración) varía significativamente de una obra a otra (figura 4), lo que corrobora la influencia de la gestión realizada en la obra sobre la generación de residuos. No obstante, será necesario realizar un profundo estudio, considerando distintos sistemas constructivos, centrado únicamente en la etapa media de la obra para lograr conocer con detalle el residuo acumulado durante dicha etapa.

6.- Conclusiones

Del trabajo desarrollado se observa que la albañilería y los acabados generan durante su ejecución, tanto en peso como en volumen, más del 30% del total de RCD previsto de ser generado.

Pocas son las fuentes que analicen la evolución del flujo de residuo en obras de edificación. De este modo, se ha conseguido una primera aproximación al estudio de la evolución del residuo en una obra residencial de nueva planta.

En este sentido, se ha observado que durante la etapa media de la obra se genera la mayoría de los residuos (60-80%). Por el contrario, en la primera y última etapa de la obra se genera aproximadamente el 10-20% y 5% del RCD total, respetivamente.

De todo lo anterior, se puede concluir que una planificación minuciosa de los RCD, previa a la ejecución de la obra, mediante la utilización de ratios, permitan conocer no solo la cantidad total de RCD generado sino su evolución a lo largo de la obra.

De este modo se podrá designar, con la antelación suficiente, el número de contenedores necesarios, la sistemática óptima para su gestión, priorizando su tratamiento para poder reducirse o reutilizarse frente a la eliminación definitiva, así como, prever la implantación de buenas prácticas para su correcta gestión a lo largo de la ejecución de la obra.

BIBLIOGRAFÍA

- Bergsdal H., Bohne R., Brattebll H., (2007), Projection of construction and demolition waste in Norway. Journal of Industrial Ecology, vol. 11, Núm. 3, Pag. 27-39.
- Coelho A; de Brito J. (2011) Distribution of materials in construction and demolition waste in Portugal. Waste Management & Research. Vol. 29. Núm. 8. Pag. 843-853
- Costa U., Ursella P. (2003) Construction and demolition waste recycling in Italy. 5th International conference on the environmental and technical implications of construction with alternative materials. San Sebastian, Spain.
- Del Río, M; Izquierdo, P; Salto Weis, I. (2010) Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered. Waste Management & Research 28, Núm. 2, Pag.118-129.
- Gobierno de España. (2001) I Plan Nacional Integrado de Residuos para el Período 2001-2007. España: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

Gobierno de España. (2008) Real Decreto 105/2008, de 1 de Febrero, por el que se Regula la Producción y Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición. España: Ministerio de la Presidencia.

Gobierno de España. (2009) II Plan Nacional Integrado de Residuos para el Período 2008-2015. España: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

Guzmán Báez, A., Villoria Sáez, P., Río Merino, Mercedes., García Navarro, J. (2012) Methodology for quantification of waste generated in Spanish railway construction works. *Waste Management*; vol. 32, Núm. 5, Pag. 920-924.

Katz, A and Baum H. (2010) A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction sites. *Waste Management*, vol. 31, Pag. 353–358.

Lin, Z.W. (2006) Model Development for Estimating the Quantity of a Single Building's Demolition Waste. Taiwan: National Central University.

Llatas, C. (2011) A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. *Waste Management*, vol. 31, Pag.1261–1276.

Mañà i Reixach, F., González i Barroso, J., Sagrera i Cuscó, A., (2000) Plan de gestión de residuos en las obras de construcción y demolición. Instituto Tecnológico de Construcción de Cataluña. Barcelona, Spain.

Mercader Moyano M.P, Ramírez de Arellano Agudo, A. (2013) Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction. *Waste Management & Research*. Vol. 31. Núm. 5. Pag. 458-474

Poon, C.S, Yu, T.W and Ng, L.H. (2001) A guide for managing and minimizing building and demolition waste. Hong Kong: Hong Kong Polytechnic University.

Solís-Guzmán, J., Marrero, M., Montes-Delgado, M.V., Ramírez-de-Arellano, A. (2009) A Spanish model for quantification and management of construction waste. *Waste Management*, vol. 29, Pag. 2542–2548.

Villoria Sáez, P; Del Río Merino, M; Porras-Amores, C. (2012) Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. *Waste Management & Research*, vol. 30, Núm. 2, Pag.137-46.

Yuan, H. & Shen, L. (2011) Trend of the research on construction and demolition waste management, *Waste Management*, vol. 31, Núm. 4, Pag. 670-679.